

Das Verhalten der Gefäßeigenfrequenz zum Lebensalter

von

Alexander Hullard-Pulstinger

aus

Obernzell

1973 # 362

Aus der Medizinischen Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. C. Korth

Das Verhalten der Gefäßeigenfrequenz zum Lebensalter

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Alexander Hullard-Pulstinger

aus

Obernzell

Aus der Medizinischen Poliklinik
des Universitäts-Krankenhauses
Direktor: Professor Dr. med. C. Korth

Das Verhalten der Gefäßengeitropen zum Lebensalter

Thema: Gefäßengeitropen
zur Klärung der Beziehungen
des Lebensalters zum Gefäß-
verhalten
Eingereicht von



Dekan: Prof. Dr. L. Demling

Referent: Priv.-Doz. Dr. E. Lang

Korreferent: Prof. Dr. C. Korth

Tag der mündlichen Prüfung: 14. August 1973

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548408_0078

Herrn Priv.- Doz. Dr. E.LANG danke
ich für die wertvollen Anregungen
im Rahmen dieser Arbeit.

GLIEDERUNG

EINLEITUNG

I. Begriffsbestimmung

1. Erläuterung zum Begriff "Arteriosklerose"
2. Erläuterung zum Begriff "Elastizität"
3. Erläuterung zum Begriff "Eigenfrequenz"

II. Physikalische Grundlagen zur Eigenfrequenzmessung

A METHODIK

I. Untersuchungsgut

II. Geräteaufbau

III. Untersuchungsang

IV. Auswertungsmodus der Messungen

B ERGEBNISSE

I. Die Eigenfrequenz der arteria radialis in Abhängigkeit vom Lebensalter herz- und kreislaufgesunder Probanden

II. Die Eigenfrequenz der arteria radialis in Abhängigkeit vom Lebensalter an Arteriosklerose erkrankter oder mit Arterioskleroserisikofaktoren behafteten Probanden

C BESPRECHUNG UND DISKUSSION

D ZUSAMMENFASSUNG

E LITERATURANGABEN

E I N L E I T U N G

Seitdem es gelungen ist, die Häufigkeit der Infektionskrankheiten durch Chemotherapeutika und Antibiotika zurückzudrängen, rücken die Herz- und Gefäßkrankheiten als Todesursache immer mehr in den Vordergrund, ihnen voran die Arteriosklerose (7). Von immer größerer Bedeutung sind daher Untersuchungsmethoden, die uns den Grad der Arteriosklerose abschätzen lassen, die uns Einblick in die Elastizität der Arterien geben.

O. FRANK erbrachte 1920 den Beweis, daß die Pulswellengeschwindigkeit c von der Wandelastizität κ der Gefäße und der Massendichte ρ des Blutes abhängig ist:

$$c = \sqrt{\frac{\kappa}{\rho}} \text{ cm/sec} \quad (4)$$

Somit konnte erstmals auf Grund des Pulswellengeschwindigkeitsanstiegs Rückschlüsse auf den Grad der Verhärtung der Arterien gezogen werden.

Diese Methode war lange Zeit jedoch die einzige Möglichkeit. Kürzlich konnte nachgewiesen werden, daß auch von der Eigenfrequenz der Arterien auf deren Wandelastizität geschlossen werden kann (12). Die Autoren entwickelten ein neues Meßverfahren, das auf dem Prinzip der Eigenfrequenzmessung beruht, welches uns einen stabilen Arterienkennwert vermittelt, der durch aktuelle

hämodynamische Einflüsse nicht verändert wird. Die Mittelwerte der Gefäßeigenfrequenz in den verschiedenen Altersstufen zeigen einen linearen Anstieg mit dem Lebensalter. Ob sich diese Beziehung zwischen der Gefäßeigenfrequenz und dem Lebensalter unter Berücksichtigung von Arterioskleroseerkrankung bzw. Arterioskleroserisikofaktoren sichern läßt, soll mit Hilfe der neuen Meßmethode in dieser Arbeit untersucht werden.

I. Begriffsbestimmung

Zahlreiche Faktoren rufen für sich alleine oder im Zusammenwirken die Arteriosklerose - wörtlich: Verhärtung der Arterien - hervor. Sie stellt vorzugsweise eine Erkrankung des vorgerückten Alters dar, die im allgemeinen erst jenseits des 40. Lebensjahres deutlich entwickelt ist.

Ursächlich werden vorallem Hypertonie, Gefäßentzündungen, allgemeine Stoffwechselstörungen mit Hyperlipidämie und Genußgifte angeführt. Die Gefäßveränderungen beginnen mit einer Vermehrung der Gewebsflüssigkeit in der Intima, in der sich später Lipoproteine ablagern. Es folgen dann Auskristallisation von Cholesterin, Hyalinose und Nekrose von Bindegewebsfasern, zuletzt Verkalkung der Arterienwand. Diese Wandveränderungen beeinflussen das elastische Verhalten der Gefäße (7).

Unter Elastizität versteht man die Fähigkeit, Formänderungsarbeit in umkehrbarer Weise zu speichern (1). Ein Maß für die Elastizität von Hohlkörpern (Gefäße) ist der Volumenelastizitätsmodul E' :

$$E' = \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (20)$$

Die Elastizität ist der Dehnbarkeit umgekehrt proportional.

Ein elastischer Körper schwingt nach einmaligem Anstoß um seine Gleichgewichtslage mit der ihm eigenen Frequenz, der sog. Eigenfrequenz.

Für die Eigenfrequenz ν gilt:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E'}{M'}} \quad (20,21)$$

E' = Elastizitätsmodul

M' = wirksame Masse nach O.FRANK

II. Physikalische Grundlagen zur Eigenfrequenzmessung

Die von E. LANG, R. WEINZIERL, D. SCHILLING, M. HUBMANN und A. HULLARD angegebene Untersuchungsmethode beruht auf dem Prinzip der Eigenfrequenzbestimmung fester Körper (12). Diese Bestimmung geht davon aus, daß jeder feste Körper eine genau definierte charakteristische Eigenfrequenz besitzt, die außer von Größe und Form vor allem von der strukturellen und molekularen bzw. von dem gegenwärtigen mechanischen Zustand des Körpers abhängig ist. Bleiben sämtliche Größen, die die Eigenfrequenz bestimmen, weitgehend konstant, so verändert sich die Eigenfrequenz ν in Abhängigkeit von der Elastizitätskonstanten λ ; d.h. die Eigenfrequenz ν ist eine Funktion der Elastizitätskonstanten λ :

$$\nu = f(\lambda)$$

Bei Konstanthaltung der übrigen Größen hat ein Anstieg der Elastizitätskonstanten auch eine Steigerung der Gefäßeigenfrequenz zur Folge:

$$\nu \sim \lambda$$

Bei einem Proportionalitätsfaktor k gilt:

$$\nu = k \cdot \lambda$$

Infolge dieser Abhängigkeiten läßt sich durch die Messung der Eigenfrequenz eine Aussage über das elastische Verhalten der Gefäße machen (14).

A M E T H O D I K

I. Untersuchungsgut

Die Untersuchten setzten sich aus Studenten, aus Patienten der Kurklinik "FRANKEN" der Bundesversicherungsanstalt in Bad Steben, aus 15 bis 22-jährigen Mädchen des Jugendsanatoriums der Bundesversicherungsanstalt in Bad Steben und aus Bewohnern des Wohnstiftes "RATHSBERG" in Erlangen zusammen. Es wurden über 190 Frauen und Männer im Alter von 15 bis 76 Jahren untersucht. Die Ergebnisse von 180 Probanden konnten ausgewertet werden. Die meisten untersuchten Frauen waren von Beruf Hausfrauen oder Angestellte mit überwiegend sitzender Tätigkeit; die Männer hingegen stammten aus den verschiedensten Berufssparten.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über Lebensalter und Geschlechtsverteilung der Untersuchten:

Tab.1

ALTERSGRUPPE	MÄNNER	FRAUEN
15-30 Jahre	11	22
31-40 Jahre	12	8
41-50 Jahre	25	19
51-60 Jahre	28	25
61 70 Jahre	18	11
über 70 Jahre		1
GESAMT	94	86

Dieses Untersuchungsgut wurde nochmals unterteilt in:

1. 104 herz- und kreislaufgesunde Probanden (42 Männer und 62 Frauen), bei denen klinisch keine Arterioskleroserisikofaktoren nachweisbar waren, und
2. 76 Probanden (51 Männer und 25 Frauen), die entweder an arteriosklerotischen Komplikationen erkrankt waren oder bei denen Arterioskleroserisikofaktoren nachgewiesen werden konnten.

In der zweiten Gruppe wurden folgende Befunde berücksichtigt:

1. arteriosklerotische Komplikationen

- a) Zustand nach Myokardinfarkt verschiedener Lokalisation
- b) periphere arterielle Durchblutungsstörungen
- c) cerebrale arterielle Durchblutungsstörungen

2. Arterioskleroserisikofaktoren

- a) Hypertonie
- b) Diabetes mellitus
- c) Adipositas
- d) Hyperlipidämie
- e) Hypercholesterinämie

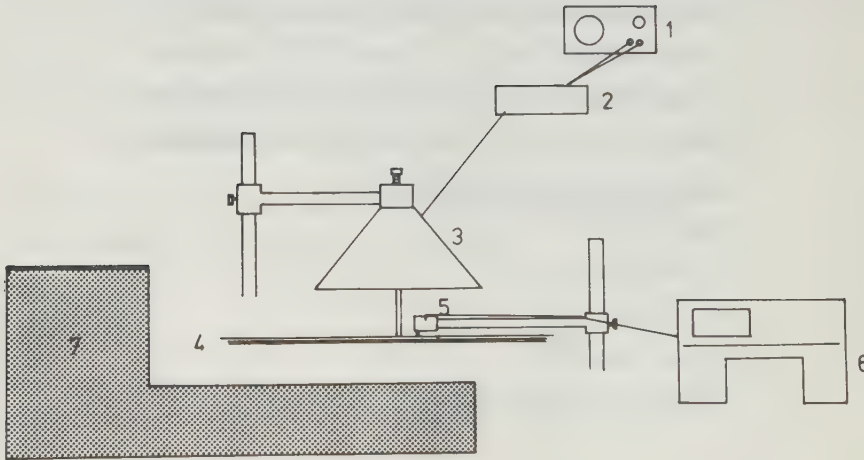
Herrn Dr. med. Buchegger, Chefarzt der Kurklinik "FRANKEN", sei an dieser Stelle für seine Unterstützung und Gastfreundlichkeit gedankt.

II. Geräteaufbau

Das uns zur Verfügung stehende Gerätesystem war eine von M.HUBMANN (9) modifizierte, ursprünglich von D.SCHILLING (14) entwickelte Versuchsanordnung.

Abb. 1

Versuchsanordnung zur Bestimmung der Gefäßeigenfrequenz



- 1) Frequenzgenerator
- 2) Verstärker
- 3) Lautsprecher
- 4) Arteria radialis

- 5) Kristallmikrophon
- 6) Registriergerät
- 7) Profilklotz zur
Ruhigstellung der Hand

Bei den Messungen zur Bestimmung der Eigenfrequenz von Arterien wurde ein Tieftonlautsprecher mit einem Frequenzbereich von 15 bis 900 Hz verwendet. Das Gerätesystem ermöglichte es, mit Hilfe eines an den Lautsprecher angebrachten Kunststoffstabes als Impulsgeber Sinusschwingungen auf Arterien zu übertragen. Der Lautsprecher war derart an einem Stativ befestigt, daß er leicht und exakt in allen Ebenen geschwenkt werden konnte. Zur Frequenzerzeugung diente ein Sinusfrequenzgenerator der Firma PHILIPS mit einem Schwingungsbereich von 1 bis 10 000 Hz. Zwischen Sinusgenerator und Lautsprecher war der Verstärker eines Tonbandgerätes der Firma GRUNDIG (Typ TK 320) geschaltet. Als Rezeptor wurde ein modifiziertes Kristallmikrophon - wie es bei der Phonokardiographie eingesetzt wird - benutzt. Dieses Mikrophon, das ebenfalls an einem Stativ befestigt war, übertrug die auf eine Arterie gegebenen Schwingungen auf einen Sechskanalschreiber der Firma SIEMENS (Typ "MINGOGRAPH"), der die gemessenen Frequenzen aufzeichnete.

Die einzelnen Kanäle waren wie folgt belegt:

Kanal 1 : frei

Kanal 2 : Sinusschwingungen, die auf die arteria
radialis übertragen worden waren

Kanal 3 : frei

Kanal 4 : frei

Kanal 5 : Carotispuls

Kanal 6 : Femoralispuls

Das gesamte System setzt sich folgendermaßen zusammen:

Erreger : Sinusgenerator und Tieftonlautsprecher

Kopplung : Haut und umgebendes Gewebe

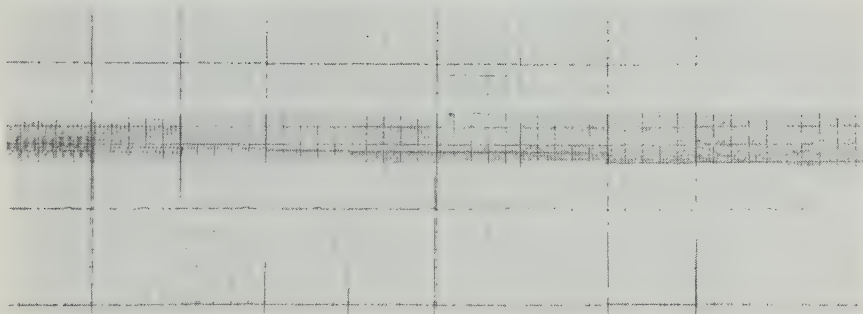
Resonator : Arterie

Meßgerät : Sechskanalschreiber

Eine Eichkurve des Systems, aus der hervorgeht, daß das Meßsystem in einem Frequenzbereich von 15 bis 100 Hz eine weitgehende Amplitudenkonstanz aufweist, ist in Abb.2 wiedergegeben.

D.SCHILLING fand die niedrigste Gefäßeigenfrequenz bei 18 Hz, die höchste bei 85 Hz, sodaß alle gefundenen Meßwerte im Bereich der Amplitudenkonstanz liegen.

Abb.2 Originaleichkurve des Untersuchungssystem
von 10 bis 100 Hz



III. Untersuchungsgang

Für jeden Probanden wurde ein Datenblatt angelegt, auf dem alle eventuellen Parameter der Eigenfrequenz wie z.B. Alter, Blutdruck, Gefäßerkrankungen, Stoffwechselstörungen etc. vermerkt waren. Die Eigenfrequenzmessungen wurden ausschließlich an der arteria radialis vorgenommen. Bei der Untersuchung lag der Proband auf einer festen Unterlage (Röntgentafel), wobei sein Unterarm in einer vorgeformten Gipsschale fixiert wurde. Nach Markierung der proximal des Radiocarpalgelenkes gut tastbaren arteria radialis wurden der Frequenzdonator (Kunststoffstab) und der Rezeptor (Kristallmikrophon) im Abstand von 1 bis 2,5 cm auf das angezeichnete Gefäß aufgesetzt.

Bei nicht exakter Auflage des Meßfühlers hatte D.SCHILLING (14) nachgewiesen, daß zwar die Dämpfung größer, d.h. die Schwingamplituden niedriger werden, der Frequenzgehalt aber dadurch kaum beeinflußt wird. Die Änderung des Kurvenverlaufes durch Meßpunktverlegung gibt Abb.3 wieder.

Nach Auflage des Frequenzdonators und des Rezeptors wurde mittels des Sinusgenerators eine Schwingung von anfänglich 15 Hz erzeugt und auf die Arterie übertragen. Die Frequenz wurde nun stufenweise um jeweils 5 Hz erhöht, wobei die Papiergeschwindigkeit

des Sechskanalschreibers für alle Registrierungen 50 mm/sec betrug. Jedes einzelne 5 Hz-Intervall wurde auf dem Meßblatt gesondert eingetragen. Sobald die höchste Schwingungsamplitude innerhalb eines solchen Intervalles lag, wurde die Messung wiederholt und die Frequenz kurz vor dem jetzt zu erwartenden Amplitudenmaximum stufenweise um 1 Hz erhöht, sodaß eine genaue Differenzierung der Eigenfrequenz möglich war. Im Durchschnitt wurden die Messungen 4 bis 5 mal pro Proband durchgeführt. Traten während der Untersuchung Wechselstromschwingungen auf, so mußte die Messung vollständig wiederholt und die Störungsquelle möglichst beseitigt werden. Bei einer großen Anzahl von Eigenfrequenzmessungen wurde gleichzeitig die Pulswellengeschwindigkeit registriert.

Abb. 3 Abhängigkeit der Schwingamplitude und der gemessenen Frequenzen bei Änderung des Meßpunktes.

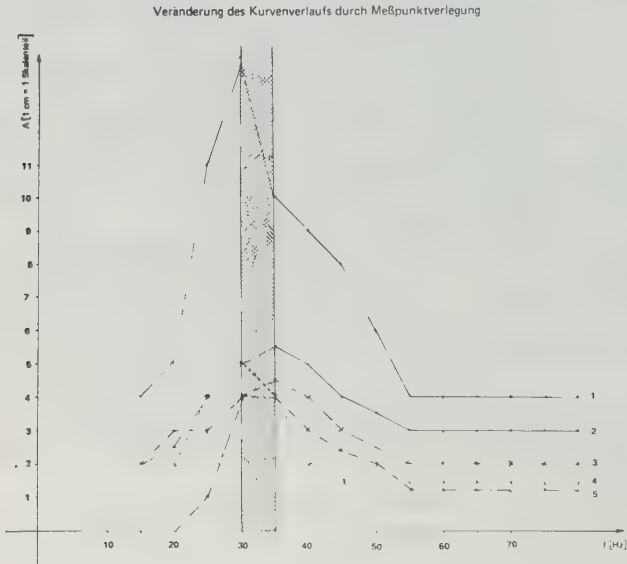
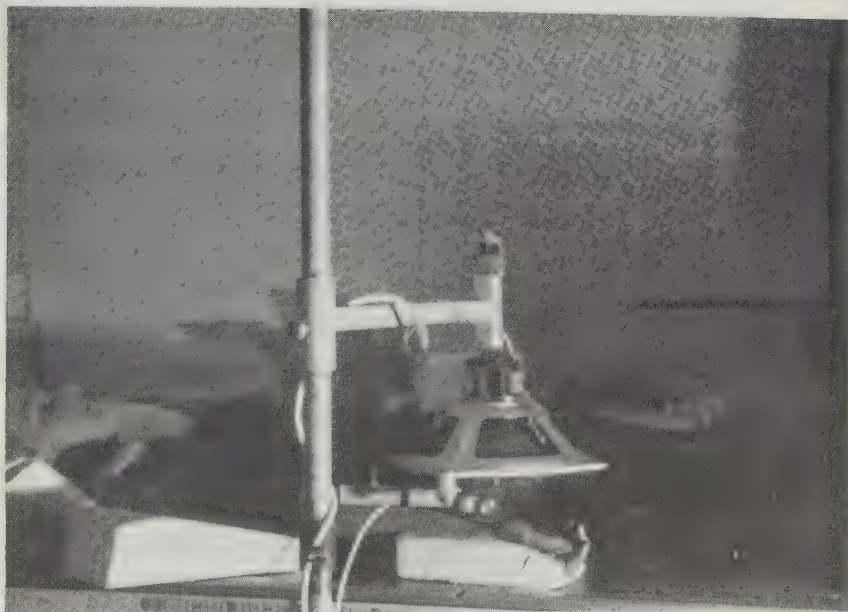


Abb.4 zeigt die Lagerung einer Probandin.
Frequenzdonator (Kunststoffstab) und Rezeptor
(Kristallmikrophon) sind auf der arteria radialis
der Versuchsperson aufgesetzt.

Abb.4



IV. Auswertungsmodus der Messungen

Die auf diese Art gewonnenen Kurven wurden wie folgt ausgewertet:

Das vom Sechskanalschreiber aufgezeichnete Amplitudenband wurde nach Amplituden abgesucht, die die übrigen deutlich an Höhe überragen. Da im Falle der Resonanz die Arterie die größte Auslenkung um ihre Ruhelage erfährt, gibt das Amplitudenmaximum eines Meßstreifens die Eigenfrequenz der Arterie an.

Bei Prüfung auf Signifikanz wurden die gebräuchlichen statistischen Methoden verwendet. Ein signifikanter Unterschied zweier Mittelwerte wird dann angenommen, wenn die Differenz zwischen beiden größer als 3σ ist.

B E R G E B N I S S E

I. Die Eigenfrequenz der arteria radialis in Abhängigkeit vom Lebensalter herz-und kreislauf-gesunder Probanden

Den niedrigsten Eigenfrequenzwert der arteria radialis fanden wir in der Altersgruppe von 15 bis 30 Jahren bei 15 Hz, den höchsten bei 38 Hz; hingegen lag bei den 31 bis 40 jährigen die niedrigste Eigenfrequenzmessung bei 25 Hz. In dieser Altersgruppe konnte die höchste Eigenfrequenz bei 40 Hz bestimmt werden, während das Maximum der Schwingamplituden in der nächst höheren Altersgruppe bei 65 Hz lag. Hier wurde der niedrigste Wert bei 30 Hz aufgezeichnet. Die Versuchspersonen im 6. Lebensjahrzehnt wiesen eine Streubreite der gemessenen Eigenfrequenzen von 45 Hz als Minimal- und 70 Hz als Maximalwert auf. Bei unseren ältesten Probanden, den 61 bis 70-jährigen, konnten wir den niedrigsten Eigenfrequenzwert bei 45 Hz registrieren, während sich mit einer Sinusschwingung von 75 Hz - höhere Frequenzen wurden in der ganzen Meßreihe nicht benötigt - der Höchstwert der Gefäßeigenfrequenz in dieser Altersgruppe bestimmen ließ.

Die Eigenfrequenzmittelwerte der verschiedenen Altersgruppen liegen für die 15 bis 30-jährigen Probanden bei 24 Hz, für die 31 bis 40-jährigen bei 32 Hz. Für Männer und Frauen im 5. Lebensjahrzehnt hingegen kann ein durchschnittlicher Wert von 52 Hz angegeben werden. Bei Personen im 6. und 7. Dezenium stellten wir Eigenfrequenzmittelwerte von 60 bzw. 62 Hz fest. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Werte der gemessenen Eigenfrequenzen in den jeweiligen Altersgruppen.

Tab.2

ALTERSGRUPPE	GESCHLECHT		EIGENFREQUENZ in Hz		
	Männer	Frauen	EF _{min}	EF _{max}	X _m
15-30 Jahre	11	21	15	38	24
31-40 Jahre	6	7	25	40	32
41-50 Jahre	6	11	30	65	52
51-60 Jahre	10	14	45	70	60
61-70 Jahre	9	8	45	75	62

EF_{min} : niedrigster gemessener Eigenfrequenzwert

EF_{max} : höchster gemessener Eigenfrequenzwert

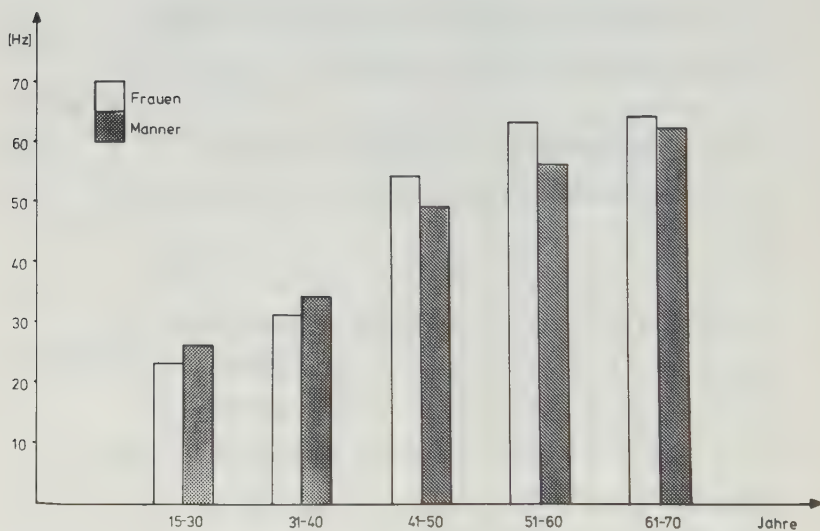
X_m : Mittelwert der jeweiligen Eigenfrequenzen

Aus Abb.5 läßt sich erkennen, daß die Eigenfrequenzmittelwerte der Frauen bei den 15 bis 30-jährigen und 31 bis 40-jährigen geringfügig unter denen der gleichalterigen Männer liegen; sie steigen aber ab dem 5.Lebensjahrzehnt erheblich an und gleichen sich in der 7.Dekade wieder an die Eigenfrequenzwerte der männlichen Probanden an. Die Mittelwerte der Eigenfrequenzen aller Altersgruppen unterscheiden sich bis auf den der Altersgruppe von 61 bis 70 Jahren statistisch signifikant voneinander (Tab.3).

Es besteht demnach außer zwischen der Altersgruppe von 51 bis 60 Jahren und der von 61 bis 70 Jahren ein statistisch gesicherter signifikanter Anstieg der Gefäßeigenfrequenz zur nächstfolgenden Altersgruppe. Den größten Anstieg der Eigenfrequenzmittelwerte von 20 Hz verzeichnen wir zwischen Personen des 4. und 5. Lebensjahrzehntes. Es fällt auch auf, daß sich in der Gruppe der 41 bis 50-jährigen die größte Streuung der Eigenfrequenzwerte (30-65 Hz, s.Tab.2) findet.

Die geringste Erhöhung der Eigenfrequenzmittelwerte von nur 2 Hz zeigte sich zwischen den letzten beiden Altersgruppen. Der mittlere Eigenfrequenzanstieg der arteria radialis findet bei herz-und kreislauf-gesunden Probanden - wie aus dem Mittelwert der Eigenfrequenzen der höchsten Altersgruppe zu sehen ist - seine obere Grenze bei etwa 62 Hz.

Abb.5 Die Mittelwerte der Gefäßeigenfrequenz der einzelnen Altersgruppen herz-und kreislauf-gesunder Probanden



Wenn man die Eigenfrequenzwerte der Probanden jeder Altersgruppe gesondert in ein Koordinatensystem aufträgt, in dem auf der Ordinate die Anzahl (n) der gefundenen Eigenfrequenzen und auf der Abszisse die Eigenfrequenz (Hz) eingetragen werden, läßt sich die Rechtsverschiebung des Häufigkeitsgipfels der gemessenen Eigenfrequenzen mit zunehmendem Alter gut darstellen (Abb.6 u.7, S.22 u.23).

Alle Eigenfrequenzen der arteria radialis von den 104 herz- und kreislaufgesunden Versuchspersonen wurden in ein Koordinatensystem (Abb.8, S.24) eingetragen. In der Abszisse sind wiederum die Lebensjahre, in der Ordinate die Eigenfrequenzen der Gefäße eingezeichnet. Durch die 104 Wertepaare wurde eine Ausgleichsgerade gezogen.

Formel der Ausgleichsgeraden: $y = 1,8 + 0,99 x$

Diese Gerade stellt den linearen Anstieg der Eigenfrequenz bezogen auf das Lebensalter dar.

Nach Errechnung der Varianz ($s^2 = 52,4$) wurden an die Ausgleichsgerade zwei Parallelen im Abstand von je 1s ($s = 7,2$) angelegt. s wird als Standardabweichung, d.h. mittlere quadratische Abweichung, bezeichnet.

Somit wird ersichtlich, daß ein Großteil der Wertepaare innerhalb der mittleren quadratischen Abweichung liegt.

Der Korrelationsfaktor r zwischen der Eigenfrequenz der arteria radialis und dem Lebensalter beträgt 0,9.

Abb.6 u. 7 Die Rechtsverschiebung des Häufigkeitsgipfels der gemessenen Eigenfrequenzen mit zunehmendem Alter

Abb.6

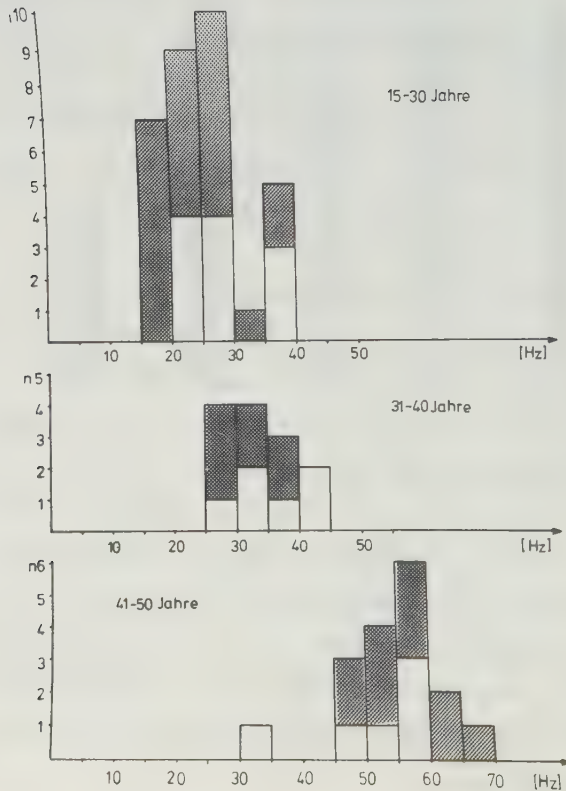


Abb.7

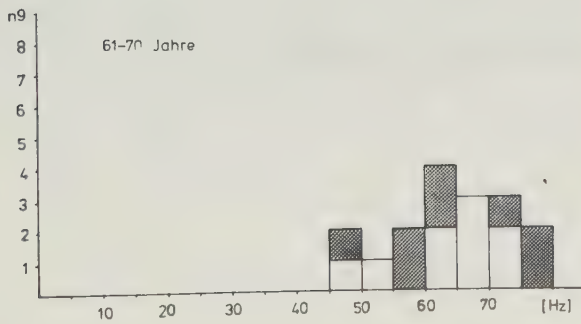
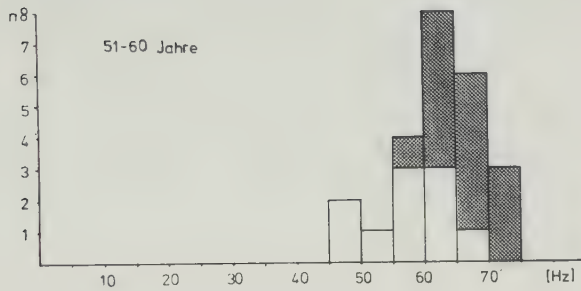
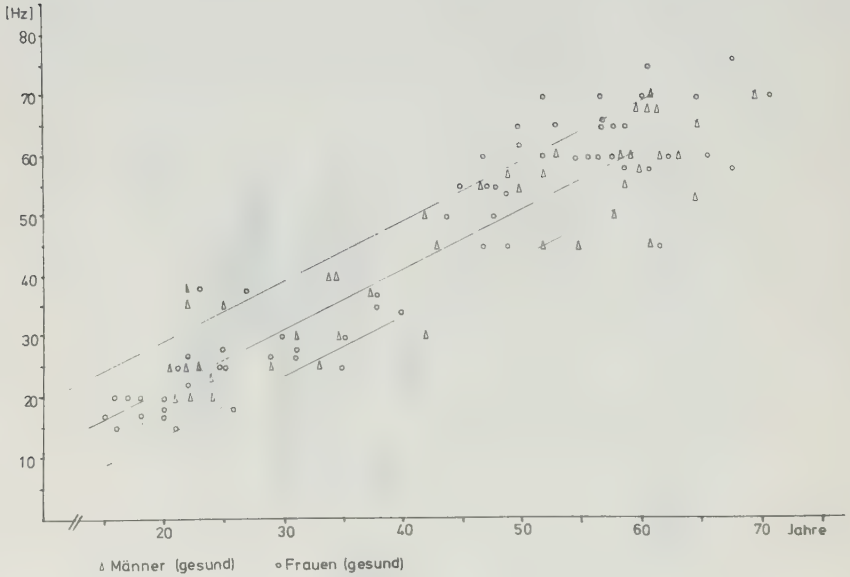


Abb.8 104 Wertepaare (Alter / Eigenfrequenz) mit
Ausgleichsgerade und Standardabweichung



Daß bei Herz-und Kreislaufgesunden ohne arteriosklerotische Erkrankungen bzw. Risikofaktoren eine unmittelbare Abhängigkeit der Eigenfrequenz der arteria radialis vom Lebensalter besteht, konnte hiermit statistisch belegt werden. Die Gefäßeigenfrequenz der arteria radialis entspricht somit etwa der Zahl der Lebensjahre. Dieses Zusammentreffen ist selbstverständlich rein zufällig.

Tab.3 Mittelwerte und Streubreite der Eigenfrequenz
bei herz-und kreislaufgesunden Probanden

Alters- gruppe	mittl. Alter	Anzahl der VP	Eigenfrequenz *		
			Hz		
			$\bar{X}_m$	$\bar{\sigma}$	$3\bar{\sigma}$
15 - 30	22	32	24,15	1,19	3,57
31 - 40	35	13	31,85	1,4	4,2
41 - 50	47	17	52,1	1,95	5,85
51 - 60	56	24	60,7	1,5	4,5
61 - 70	64	17	62,4	2,2	6,6

Tab.4 Mittelwerte und Streubreite der Eigenfrequenz
bei Probanden mit arteriosklerotischen Komplika-
tionen bzw. Arterioskleroserisikofaktoren

Alters- gruppe	mittl. Alter	Anzahl der VP	Eigenfrequenz *		
			Hz		
			$\bar{X}_m$	$\bar{\sigma}$	$3\bar{\sigma}$
31 - 40	37	7	45,5	2,8	8,4
41 - 50	47	27	61	2,06	6,18
51 - 60	55	29	68,5	1,3	3,9
61 - 70	62	12	69	2,2	6,6

*

VP = Versuchspersonen

$\bar{X}_m$ = Mittelwert der Eigenfrequenz

$\bar{\sigma}$ = Streubreite der Mittelwerte

II. Die Eigenfrequenz der arteria radialis in Abhängigkeit vom Alter an Arteriosklerose erkrankter oder mit Arterioskleroserisikofaktoren behafteten Probanden

Auf Grund umfangreicher Untersuchungen (8,13,16) konnte festgestellt werden, daß bei Versuchspersonen, die an Arteriosklerose erkrankt waren, oder bei Personen mit arteriosklerotischen Risikofaktoren wie Hypertonie und Diabetes mellitus das elastische Verhalten der Arterienwand wesentlich verändert wird. Die Untersuchungen betrafen die Messung der Pulswellengeschwindigkeit (11, 17, 23). In wie weit die Wandveränderungen der Arterien deren Eigenfrequenz beeinflussen, soll anhand von 76 Probanden untersucht werden. Bei den Versuchspersonen handelte es sich entweder um eine "Arteriosklerose" im klinischen Stadium, oder sie wiesen mindestens einen, meist aber mehrere arteriosklerotische Risikofaktoren auf.

Die Eigenfrequenz der arteria radialis betrug bei einer 30-jährigen Probandin, die jüngste Versuchsperson in dieser Meßreihe, 45 Hz. In der Altersgruppe von 31 bis 40 Jahren wurde die niedrigste Eigenfrequenz bei 28 Hz und die höchste bei 60 Hz gemessen. Die größte Streubreite der Eigenfrequenzwerte läßt sich bei Personen im 5. Lebensjahrzehnt nachweisen,

wobei 40 und 78 Hz die gemessenen Grenzwerte darstellten. Bei den 51 bis 60-jährigen Probanden konnten wir Eigenfrequenzen von 55 Hz als Minimal- und 85 Hz als Maximalwerte registrieren. Während auch in der nächst höheren Altersgruppe die niedrigste Eigenfrequenz bei 55 Hz lag, konnte hier mit 80 Hz der Höchstwert der Gefäßeigenfrequenz bestimmt werden. In Tab.5 werden die Eigenfrequenzminimal-und Maximalwerte und die Eigenfrequenzmittelwerte der jeweiligen Altersgruppe dargestellt.

Tab.5

ALTERSGRUPPE	GESCHLECHT		EIGENFREQUENZ in Hz		
	Männer	Frauen	EF _{min}	EF _{max}	X _m
31 - 40 Jahre	6	1	28	60	45
41 - 50 Jahre	19	8	40	78	61
51 - 60 Jahre	18	11	55	85	68
61 - 70 Jahre	8	4	55	80	69

EF_{min} : niedrigster gemessener Eigenfrequenzwert

EF_{max} : höchster gemessener Eigenfrequenzwert

X_m : Mittelwert der jeweiligen Eigenfrequenzen

Auch bei den 76 Versuchspersonen mit Arteriosklerose bzw. arteriosklerotischen Risikofaktoren sind die Mittelwerte der Gefäßeigenfrequenz der Altersgruppen bis zum 60. Lebensjahr statistisch signifikant von einander verschieden. Im Vergleich zu der jeweiligen Altersgruppe herz- und kreislaufgesunder Probanden liegt die Eigenfrequenz der Versuchspersonen mit arteriosklerotischen Komplikationen oder Arterioskleroserisikofaktoren bei den 31 bis 40-jährigen um 14 Hz, bei den 41 bis 50-jährigen um 9 Hz, bei den 51 bis 60-jährigen um 8 Hz und bei den 61 bis 70-jährigen um 7 Hz höher. Vergleicht man die Werte dieser Meßreihe mit denen der Herz- und Kreislaufgesunden, so ist zu sehen, daß sich bei allen Altersgruppen der Probanden mit arteriosklerotischen Komplikationen bzw. Risikofaktoren die Mittelwerte der Eigenfrequenzen statistisch gesichert signifikant von denen der jeweiligen herz- und kreislaufgesunden Altersgruppe unterscheiden (Abb. 9, Tab. 3 u. 4).

Es fällt auf, daß man wieder zwischen den 31 bis 40 und 41 bis 50 Jahre alten Probanden, die entweder an Arteriosklerose erkrankt waren oder Arterioskleroserisikofaktoren aufwiesen, den höchsten Eigenfrequenzanstieg (14 Hz) findet. Die letzten beiden Altersgruppen zeigen fast identische Eigenfrequenzmittelwerte (68 Hz und 69 Hz).

In Abb.9 sind die Mittelwerte der Eigenfrequenz von gefäßgesunden und die der an Arteriosklerose erkrankter oder mit Arterioskleroserisikofaktoren behafteten Versuchspersonen aufgetragen. Für jeden Eigenfrequenzmittelwert der Altersgruppen ist die entsprechende 3 σ -Grenze (Tab.3 u.4) eingezeichnet.

Alle Eigenfrequenzen der 76 Probanden wurden in ein Koordinatensystem (Abb.10) eingetragen. In der Abszisse sind die Lebensjahre, in der Ordinate die Eigenfrequenz der arteria radialis aufgetragen. In dieses Koordinatensystem wurde die Ausgleichsgerade und die Standardabweichung der Meßreihe von den 104 herz- und kreislaufgesunden Probanden eingezeichnet. Wie Abb.10 zeigt, liegt die Mehrzahl der Wertepaare von Versuchspersonen mit Arteriosklerose oder arteriosklerotischen Risikofaktoren nicht konzentriert um die Ausgleichsgerade, sondern überschreitet zu einem großen Teil die obere Grenze der Standardabweichung. Für die Wertepaare, die noch im eingezeichneten Normbereich liegen, kann gesagt werden, daß zumindest in der Peripherie des arteriellen Gefäßsystems, d.h. an der arteria radialis noch keine pathologischen Wandveränderungen der Arterien bei den entsprechenden Probanden stattgefunden haben.

Abb.9 Die Mittelwerte der Eigenfrequenzen aller Altersgruppen mit Berücksichtigung der entsprechenden 3σ -Grenze

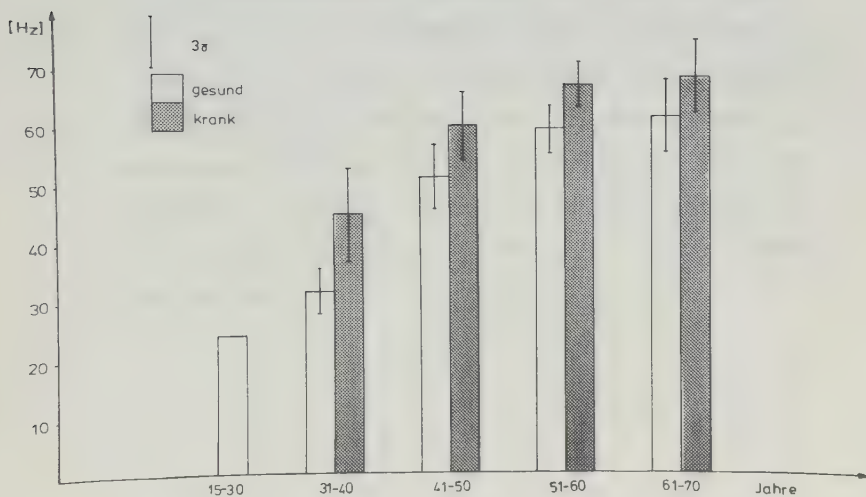
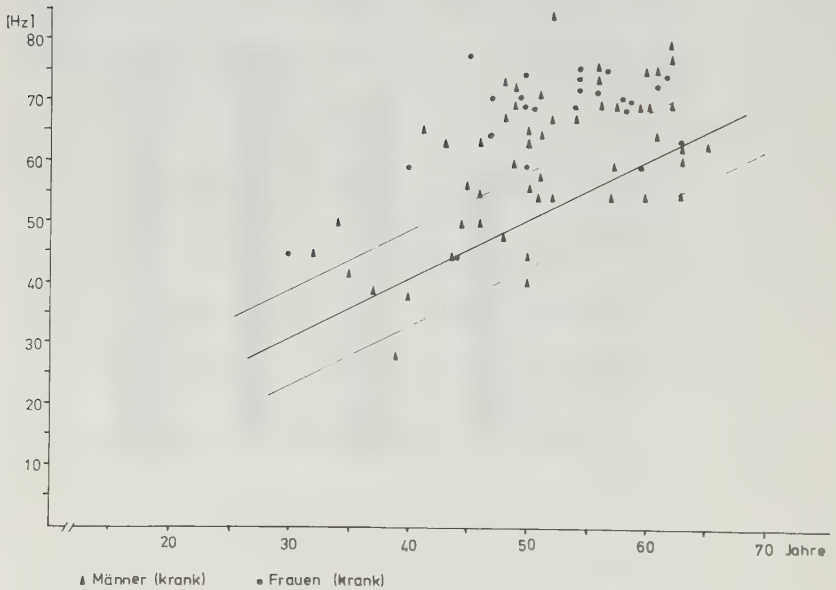


Abb.10 Die Wertepaare (Alter/Eigenfrequenz) von 76 Probanden mit arteriosklerotischen Komplikationen bzw. Risikofaktoren und die Ausgleichsgerade und Standardabweichung der Wertepaare Herz-und Kreislaufgesunder



Auf Grund der oben nachgewiesenen Korrelation zwischen der Eigenfrequenz der arteria radialis und dem Lebensalter -Korrelationsfaktor $r = 0,9$ - kann man bei Herz-und Kreislaufgesunden die Lebensjahre mit der Gefäßeigenfrequenz in etwa gleichsetzen. Die Eigenfrequenz der arteria radialis liegt bei Untersuchten, die an Arteriosklerose erkrankt sind oder bei denen Arterioskleroserisikofaktoren nachgewiesen werden können, um 7 bis 14 Hz höher als bei der vergleichbaren Altersgruppe von Normalpersonen. Man darf demnach vereinfacht feststellen, daß die Gefäße von Personen mit arteriosklerotischen Komplikationen im Vergleich zu den Gefäßen von Normalprobanden um 7 bis 14 Jahre "vorgealtert" sind.

C BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Sowohl die Pulswellengeschwindigkeitsmessungen als auch die Bestimmung der Eigenfrequenz von Gefäßen lassen Rückschlüsse auf das elastische Verhalten der Gefäßwände zu. Zahlreiche Autoren (6,15,16,22) stellten übereinstimmend eine Erhöhung der Pulswellengeschwindigkeit mit zunehmendem Alter fest und damit eine Elastizitätszunahme, d.h. eine zunehmende Verhärtung der arteriellen Gefäßwände. Wir konnten auf Grund des Anstieges der Eigenfrequenz der arteria radialis auch auf eine altersabhängige Verhärtung der arteriellen Gefäße schließen. Ob eine Korrelation zwischen der Messung der Pulswellengeschwindigkeit, die hauptsächlich das elastische Verhalten der Aorta und ihrer großen Gefäße erfaßt, und der Eigenfrequenzmessung, die das elastische Verhalten eines peripheren Gefäßes wiedergibt, besteht, zeigt der Vergleich beider Meßmethoden.

W.SCHIMMLER hat bisher für das umfangreichste Probandenkollektiv Alterskurven der Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta aufgestellt. Er verglich die Pulswellengeschwindigkeit normotoner Männer und Frauen und fand, daß bis zum 45.Lebensjahr die Frauen niedrigere Mittelwerte der Pulswellengeschwindigkeit als die

Männer besitzen. Jenseits des 50. Lebensjahres kehren sich die Verhältnisse um (16). Unsere Ergebnisse zeigen hierin mit denen von W. SCHIMMLER große Übereinstimmung. Die Eigenfrequenzmittelwerte der arteria radialis liegen bei den herz- und kreislaufgesunden Frauen bis zum 5. Lebensjahrzehnt unter denen der Männer. Ab dem 5. Dezennium übersteigen sie jedoch die Eigenfrequenzmittelwerte der gesunden Männer.

Die Eigenfrequenz der arteria radialis der herz- und kreislaufgesunden Frau liegt demnach bis zum Klimakterium unter der des Mannes; sie weist somit einen niedrigeren Elastizitätsmodul, d.h. höhere Dehnbarkeit, auf und ist biologisch jünger als die arteria radialis eines gleichalterigen Mannes. Nach dem Klimakterium steigt die Eigenfrequenz bei den Frauen schneller an, sodaß auch in unserer Meßreihe von einem "biologischen Knick" bei den Frauen gesprochen werden kann.

Sowohl bei der Meßreihe Herz- und Kreislaufgesunder als auch bei der von Probanden, die arteriosklerotische Komplikationen oder Arteriosklerose-Risikofaktoren aufwiesen, fanden wir den höchsten Eigenfrequenzanstieg zwischen den Altersgruppen von 31 bis 40 und 41 bis 50 Jahren. Dieser Befund zeigt deutlich, daß auch bei Versuchspersonen ohne klinisch nachweisbare Risikofaktoren die Altersgruppe von

41 bis 50 Jahren am meisten gefährdet ist. Auch weist die hohe Streubreite der gemessenen Eigenfrequenzwerte in dieser Gruppe darauf hin, daß schon bei einem Teil der Probanden, die klinisch noch als gesund galten, Wandveränderungen an der arteria radialis stattgefunden haben.

Wie schon oben erwähnt, zeigen in der Meßreihe der Personen mit arteriosklerotischen Komplikationen bzw. Risikofaktoren die letzten beiden Altersgruppen fast identische Eigenfrequenzmittelwerte (68 Hz u. 69 Hz). Ein Grund dafür könnte sein, daß die Gruppe der 61 bis 70 Jährigen eine relativ hohe Absterbeauslese aufweist, d.h. Menschen, die schon im Alter von 50 bis 60 Jahren geschädigte Gefäße haben und bei der Messung der Eigenfrequenz der arteria radialis hohe Werte aufweisen, haben geringe Chance, das nächste Lebensjahrzehnt zu erreichen. Die elastische Kondition scheint daher gegenüber den Probanden der jüngeren Dekade besser zu sein.

Bei der Pulswellengeschwindigkeitsmessung in der Aorta wird hingegen der höchste Anstieg zwischen der Gruppe von 51 bis 60 und der von 61 bis 70 Jahren angegeben. Das könnte bedeuten, daß die Sklerosierung der Aorta und ihrer Hauptäste erst im höheren Alter erfolgt als die der peripheren Gefäße.

Ähnlich wie andere Autoren (18) durch Pulswellengeschwindigkeitsmessungen an der arteria radialis bei Diabetikern konnten auch wir feststellen, daß bei den Probanden mit arteriosklerotischen Komplikationen bzw. Risikofaktoren die Eigenfrequenz der arteria radialis höher liegt als bei den vergleichbaren Kontrollpersonen.

Die Frage, ob die Zunahme des Kollagens in den Gefäßwänden (10), das einen 10^3 mal größeren Elastizitätsmodul als die elastischen Fasern besitzt (2,19), oder ob die Veränderungen der elastischen Elemente selbst (17) für das Verhalten der Eigenfrequenz bzw. der Pulswellengeschwindigkeit verantwortlich sind, bleibt noch offen.

Schlußfolgerung

Die lineare Abhängigkeit der Gefäßeigenfrequenz vom Lebensalter bei Gesunden und das korrelative Verhalten von Eigenfrequenz und einigen Arterioskleroserisikofaktoren gibt uns einerseits die Möglichkeit durch ein indirektes Verfahren Rückschlüsse auf das biologische Alter der Gefäße zu ziehen, andererseits den Grad der arteriosklerotischen Wandveränderungen abzuschätzen.

Da man mit Hilfe der neuen Meßmethode wichtige Hinweise über den Zustand der Gefäße erhält, und diese Meßmethode relativ einfach zu handhaben ist, dürfte sie Eingang in die Diagnostik der Medizin - vornehmlich der Präventivmedizin - finden.

D Z U S A M M E N F A S S U N G

Bei 104 herz-und kreislaufgesunden Versuchspersonen im Alter von 15 bis 76 Jahren und 76 Personen mit arteriosklerotischen Komplikationen oder Arterioskleroserisikofaktoren im Alter von 30 bis 65 Jahren wurde die Eigenfrequenz der arteria radialis gemessen. Für die Auswertung wurden die Versuchspersonen in fünf Altersgruppen von jeweils einem Lebensjahrzehnt zusammengefaßt.

Folgende Befunde wurden erhoben:

1. Es besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Gefäßeigenfrequenz und dem Alter der Probanden. Mit zunehmendem Alter steigt auch die Gefäßeigenfrequenz. Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,9.
2. Die Mittelwerte der Eigenfrequenzen aller Altersgruppen sind bis auf die beiden letzten (51 - 60 und 61 - 70 Jahre) statistisch signifikant verschieden.
3. Die Mittelwerte der Eigenfrequenz von Probanden mit arteriosklerotischen Komplikationen bzw. Arterioskleroserisikofaktoren liegen bezogen auf die Mittelwerte der jeweils klinisch gefäßgesunden Altersgruppe statistisch gesichert höher.

Diese Befunde lassen den Schluß zu, daß die Eigenfrequenzmessung von Gefäßen wichtige Hinweise sowohl über das biologische Alter der Gefäße, als auch über den Grad der arteriosklerotischen Wandveränderungen geben kann.

E L I T E R A T U R A N G A B E N

- 1) BRECHT,K.: Die mechanischen Eigenschaften des Muskels,in:
KEIDEL,W.D.: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie
Georg - Thieme, Stuttgart, 1.Aufl.,265,(1967)
- 2) BURTON,A.C.: Relation of structure to function of the tissues of the wall of blood vessels
Physiol. Rev. 34,619,(1954)
- 3) FLÖGEL,W.: Untersuchungen zum korrelativen Verhalten der Gefäßeigenfrequenz und der Pulswellengeschwindigkeit
Diss. Erlangen (1972)
- 4) FRANK,O.: Die Elastizität der Blutgefäße
Z. Biol. 71,255-272,(1920)
- 5) FRANK,O.: Die Theorie der Pulswellen
Z. Biol.:85,91,(1926)
- 6) HALLOCK,Ph.: Zitiert nach W.SCHIMMLER
Arch.f.Kreislaufforschung 47,189,(1965)
- 7) HAMPERL,H.: Lehrbuch der allgemeinen Pathologie und der pathologischen Anatomie
Springer,Heidelberg-Berlin-New York 28.Aufl.
322-330,(1968)

- 8) HERZOG, F., MEURER, H.: Untersuchungen zur klinischen Bewertung der Pulswellengeschwindigkeit
Klin. Wschr. 18, 1150, (1939)
- 9) HUBMANN, M.: Die Beurteilung der arteriellen Gefäßwand mit einer modifizierten Methode zur Bestimmung der Gefäßeigenfrequenz
Diss. Erlangen (1972)
- 10) HUECK, W.: Anatomisches zur Frage nach Wesen und Ursache der Arteriosklerose
Münch. med. Wschr. 62, 535, (1920)
- 11) KARNBAUM, S.: Elastizität und Morphologie des Aortenwindkessels beim Bluthochdruck
Arch. f. Kreislaufforschung 34, 18, (1961)
- 12) LANG, E., WEINZIERL, R., SCHILLING, D., HUBMANN, M., HULLARD, A.: Untersuchungen mit einer neuen Methode zur Beurteilung der arteriellen Gefäßwände
actuelle geront. II 1, 17-20, (1972)
- 13) LUDWIG, H.: Die Pulswellengeschwindigkeit bei Gesunden und Kranken
Z. exper. Med. 99, 352, (1936)
- 14) SCHILLING, D.: Eine neue Methode zur Beurteilung der Elastizität der arteriellen Gefäßwände
Diss. Erlangen (1972)

- 15) SCHIMMLER, W.: Untersuchungen zu Elastizitätsproblemen der Aorta
Arch.f.Kreislaufforschung 47, 189-233, (1965)
- 16) SCHIMMLER, W.: Zur Pathophysiologie der Pulswellengeschwindigkeit
Münch.med.Wschr. 4, 181-186, (1967)
- 17) SCHIMMLER, W.: Zur Pathophysiologie des alternden Kreislaufs
Vortrag anlässlich des 2. Ärztetages in der präklinischen Geriatrie (zur Veröffentlichung vorgesehen)
- 18) STERNBY, N.H., VANECEK, R., VIHERT, A., KAGAN, A. and VERMURA, K.:
Bull.Wld.Hlth.Org. 33, 741, (1965)
- 19) TRIEPEL, H.: Über die elastischen Eigenschaften des elastischen Bindegewebes und der glatten Muskulatur
Anat.Hefte 10, 1, (1898)
- 20) WETTERER, E.: Bau und Funktion des Gefäßsystems, in:
KEIDEL, W.: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie
Georg-Thieme, Stuttgart, 1. Aufl. 98-102, (1967)
- 21) WETTERER, E.: Neuere Vorstellungen über die Entstehung der arteriellen Pulsformen
Z.Therapiewoche 5, 293-302, (1972)

- 22) WEZLER, K.: Abhängigkeit der Arterienelastizität
vom Alter und dem Zustand der Wandmuskulatur
Z.Kreislaufforschung 27, 721, (1935)
- 23) WEZLER, K., STANDL, R.: Die normalen Alterskurven der
Pulswellengeschwindigkeit in elastischen und
muskulären Arterien des Menschen
Z.Biol. 97, 265, (1936)

LEBENS LAUF

- 14.9.1949 Geboren als Sohn des prakt.Arztes
Dr.med.Alexander Hullard-Pulstinger
und seiner Frau Anneliese, geb.Nückel,
in Obernzell/Donau
- 1955-1959 Volksschule in Untergriesbach
- 1959-1967 Kolleg St.Blasien/Schwarzwald
- 1967 Abitur
- 1968 Naturwissenschaftliche Vorprüfung
- 1970 Ärztliche Vorprüfung
- 10.8.1973 Ärztliche Prüfung

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogt, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990